

# 核拡散のダイナミクスのシミュレーション分析

瀬 島 誠

## Simulation Analysis of the Nuclear Proliferation

Makoto SEJIMA

よろしくお願ひします。早速ですが、報告を始めます。

今日のお話なんです、まず、この研究の発端となりました科研の研究がございますので、少しそれを紹介したいと思ひます。2番目として、その科研の研究会はグローバル公共財に関する研究会でございますので、グローバル公共財とはどんなことなのかということのお話をいたします。3番目に、今日のテーマの核拡散なんです、その核拡散の現状についてご説明して、そしてそれが一体公共財とどう絡むのかという話をいたします。それを踏まえた上で、シミュレーションを後半部分でご紹介いたします。シミュレーション部分では、まず、どういふ問題関心でこのシミュレーションを行ったのかということ述べて、それらを明らかにするためにどういふモデルをつくったのかということ説明いたします。モデルの大体の形を説明いたしました後に、どうやって実際に動かしているのか、ターンの構成と言ひますが、それを説明いたします。そして、結果がどうなったのかということ評価するといふように話を進めます。最後に今後の課題ということ述べて終わりにしたいと思ひます。

数式は皆さんお嫌ひですよ。岑先生は数式じゃないと話がわからない先生なんです、私ももともと数式は全然やっていませんでした。河原地先生と同じロシア外交、ソ連外交をやって、それから、あるとき突然気が変わってシミュレーションの研究のほうに入ってしまったんです、数式の話をするとう大体の方は寝ますので、できるだけそれは避けようと思ひます。私、授業で数量国際政治学という授業をやっているんですが、昼が終わった後の3時間目、学生は70名ぐらいいましたかね。全員寝かせましたので。です、あんまり数式は入りません。

さて、何でシミュレーション研究をやり始めたのかということなんです、これはもう岑先生とのかかわりが始まった時点なんです、京大の吉田和男先生が国際公共財のワークショップというのをずっと運営されて、そこに、とある先輩の先生から「こんなのあるから行ってみるかい」と紹介されたので、行ってみたんですね。行った途端、失敗したと思ひました。報告する人が数式ばかりでやって、あれ、変なところへ来ちゃったなと思ひました。帰りたいなと思ひたのを多分、吉田先生が鋭く察知したんですね。その報告者に向かって「数学じゃなくて普通の言葉で説明

しなさい」と言って。そしたらその報告者がしどろもどろになって普通の言葉で説明していたんですが、それを聞いていたら、何だそんなことかというのがわかりまして、それから非常に入りやすくなって、そのまま10年以上、吉田先生のもとで勉強しております。

昔からコンピューターには関心がありまして、東大の山影先生がシミュレーションをやっているのをおもしろそうだなと思って見ていたんですが、大学院ではその機会に恵まれず、結局あきらめたんです。こっちへ来ましたら吉田先生がいろいろ自由にやっていて、シミュレーションが重要だということも言っておられましたので、やる機会があるのかなと思って始めてしまったら、そのままずると来てしまったんですね。

その後、ラッキーなことに吉田先生を代表とする科研の基盤研究（A）が当たりまして、国際公共財の理論研究というプロジェクトで4年間研究をやっていました。その中でシミュレーションを私もやっていたんですが、どうもそれがおもしろそうだということで、基盤研究（S）ではシミュレーションに特化して申請して、現在4年目になりまして、来年が5年目で最後になります。

## 科研S

- 1年目 シミュレーション環境設計方針策定
- 2年目 シミュレータの設計
  - 中間評価 <http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/>
- 3年目 シミュレータの完成
  - 進捗状況評価 <http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/>
- 4年目 シミュレーション研究とシミュレータの再検討
  - 研究成果の出版『地球秩序のシミュレーション分析——グローバル公共財学の構築に向けて』日本評論社, 2009年3月.
- 5年目 研究継続と最終報告 7月

そのような形で我々は科研を進めていまして、科研の基盤研究（S）はスライドにあるような感じで仕事をしております。1年目がシミュレーションの環境設定、方針策定ということで、あちこちのいろいろなシミュレーターを見て、または専門の方々にお話を伺って、シミュレーションについての

勉強をしていく。2年目がシミュレーターというのを設計いたしました。GPGSiM というシミュレーターをつくっておりました、その設計に入りまして、3年目で一応の完成を見ました。2年目と3年目で中間評価を受けまして、そこに書いてあるアドレスのところに全部出ています。一番いいのがA+なのですが、A+は残念ながらもらえませんが、一応Aを両方ともいただいています。

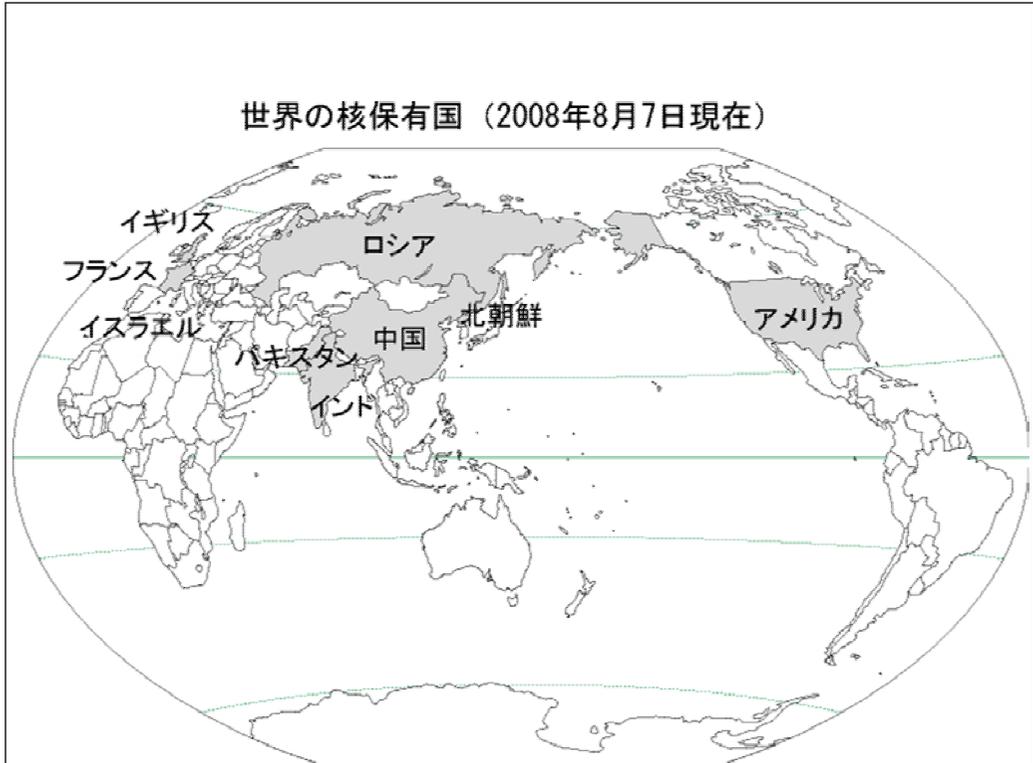
今年が4年目でして、そのシミュレータをさらに再検討しながら、研究成果ををすることになり、日本評論社から2009年の3月に出版します。3,500円と高いんですが、もし年度末に研究費が余りましたら、ぜひとも購入いただければと思います。『地球秩序のシミュレーション分析』というのがタイトルで「グローバル公共財学の構築に向けて」という副題をつけております。来年が最終報告を行う年ということになりまして、7月に京都大学でシンポジウムを開く準備をしております。7月2日を予定して（実際は8月2日）、京大の百周年記念ホールを押さえています。キーノート・スピーカーに竹中先生をお呼びしたいと思っています。

今からご説明するのも、実はその本に書いた1つの章の内容です。そちらのほうに書きました論文をご説明するということになります。

## 核拡散の現状

- 核兵器の数
  - 2003年1月現在, 3万発(ロシアの予備ないし解体待ち1万発を含む)
- 核保有国
  - アメリカ, ロシア(1949), イギリス(1952), フランス(1960), 中国(1964)
  - インド(1974), パキスタン(1998), イスラエル, 北朝鮮
  - イラン, シリア

このスライドにあることは釈迦に説法ですので余り細かい話はしなくていいと思うのですが、核拡散の現状です。核兵器の数が2003年1月の段階では3万発というデータです。それから、核保有国は、アメリカ、ロシア、イギリス、フランス、中国。後にインドとパキスタンと。イスラエルはいつというのがはっきりしないんですが、確実に持っているだろうとされています。それから北朝鮮もはっきりはしないんですが、恐らく核保有国だろうと。イランが今目指していて、シリアも恐らく核保有を目指しているだろうというのはされています。ここら辺が核拡散の現状です。



このスライドは地図で、自分でつくったものですからコピーライトの問題は全然発生しません。このように世界的には核保有国がふえてきています。

## 世界の核戦力 (2006年1月)

<http://www.sipri.org/contents/expcon/worldnuclearforces.html>

	戦略兵器弾頭数	非戦略兵器弾頭数	合計弾頭数
アメリカ	5,021	500	5,521
ロシア	3,352	2,330	5,682
フランス	348	-	348
イギリス	185	-	185
中国	-130	?	-130
インド	-	-	-50
パキスタン	-	-	-60
イスラエル	-	-	100-200
合計	-	-	-12,100

こちらのスライドは SIPRI からとったデータから作ったものです。SIPRI のデータをそのまま持ってきました。世界の核弾頭の数です。このような推定がなされていますが、かなりわからないところがあります。中国の-130 というのは、これは 130 まで、それ以下ということになります。具体的な数字はまだわからないということになっています。

以上が核拡散の現状で、次に核拡散とグローバルパブリックグッツ、グローバルな公共財の関係についてですが、核兵器が拡散することの影響が一体どういうことになるのか。核兵器が拡散することが世界にとってどういう意味を持つかということに関して論争があります。これも釈迦に説法ですから余り細かい話をする必要はないと思いますが、1つは、世界は安定するという考え方があります。もう1つは、世界は不安定化する。極端に分けてしまいますと、こういう2つの考え方があります。

後者のほうは大体多くの人が想像する直感的な話でありまして、核拡散が進むとどうも世界が不安定化するんじゃないかという議論。それに対して、その直感と相反する議論というのが特にアメリカにはありまして、これを突き詰めると、多くの国が核を持てば持つほど世界にとって好ましいという議論です。

核拡散がどういう意味を持つかという、この論争点についてどう考えるかなんですが、これに関しましては次のように考えたいと思います。

まず、ウォルツらの研究を読みますと、大体こんなような議論ではないかとまとめました。核兵器を使用することは破滅的であるということは多くの人が知っている。核兵器の意義とは何かと言うと、それは実際使うことではない。使うとこれは破滅的ですから、相手の攻撃を防ぐことだけがその存在意義でしかないんだということになります。

もし合理的に考えてみれば、相手を攻撃しても相手に反撃される可能性というか、危険性はゼロではないわけです。核攻撃は自滅的になるわけでありますので、合理的に考えれば、核兵器を持った国同士では、そのことをお互いによく理解していれば、相互に核を使用することはあり得ない。したがって、そういうことがわかっているならば世界は安定に向かうはずである。そういうことがわからないからいけないんだというような話であります。それに付け足すとすれば、冷戦時代、実際に米ソは戦争をしなかったではないかというような議論もあります。以上は合理的に考えればということでありまして、中にちょっと合理的に考えないような人がいたとすると、このような議論はもちろん成り立たないわけです。

さて、百歩譲って結果的に安定するとしましょう。私は核拡散は必ずしも簡単に安定をもたらすとは思わないのですが、結果的に安定するかもしれません。みんなが核の存在の意義ということをよく理解して、相互に攻撃するということをしないという状態が成り立ったとすれば、それはそうかもしれません。しかし、それでも2つの問題点があるということ指摘いたしまして、核の拡散は世界にとって必ずしも好ましいものではないということをお願いしたいと思います。

第1に、それまでのプロセスが重要かつ危険ということです。つまり、核兵器を新たに持った国が、持ったところで、お互いに使わないという状況をつくり出さなければいけない。核兵器というのは使うものではなくて、攻撃を抑止するだけであって、そのためには単にそう思うだけではなくて、そのためのいろいろな工夫が必要。例えばインドとパキスタンですか、両国間でどうやって核兵器を使わないか、その合意とか、いざ危機が発生したときにどうやってお互いに連絡し合うか、誤解がないようにどうやって情報を開示するか、そういういろいろな手続きを共有しなければいけない。核を持ったところですぐに核兵器が使えないからという認識を持てばそれでいいのかというと、実はそう簡単ではない。アメリカはそういうノウハウを持っていますので、インドとかパキスタンにそういうノウハウを提供するにしても、外から持ってきた知識が自分たちに根づくためにはある程度時間がかかります。ポイントは、核を持ったとしても、安定するまでのプロセスが非常に問題だということです。そのところが、場合によっては危険なもの、危機的なものになるかもしれない。これが第1点目です。

第2点目なんですが、ウォルツとか、そういう人々は、国家として非常に安定していて、まとまっている国を想定している。そういう国が核兵器を持つとすれば、合理的に考えて、核兵器を使わない。そのために核兵器というのは存在するというような考えだろう。しかし、今日の核兵器を持つともし

ている国家は必ずしもそうでなく、パキスタンにしる、シリアにしる、国家として必ずしも安定していない国が核兵器を持つ確率が高くなるのではないかということです。

さらに恐ろしいことに、例えば国家を持たない組織、テロリストなどに核兵器が拡散する可能性も高まってきている。だから、核物質の管理なども重要になってくるわけなんです、必ずしも巧く管理されているわけではない。核保有国がふえるほど、国家を持たない組織、例えばテロリストなどに核兵器が拡散する可能性も高まってくる。そういうことになると、こういう連中に対して果たしてウォルツらが想定している合理的な抑止というものが機能するか。抑止は非常に難しくなるのかもしれない。ウォルツらが想定する前提条件が満たされれば安定をするのですが、しかし、その前提となる条件を満たすことがそう簡単ではない。したがって、核拡散「防止」はグローバル公共財であるということを言いたいと思います。

グローバル公共財ですが、消費とか利用における排除不可能性と非競合性という性質が存在する財のことを公共財と呼んでいます。

例えば、一番有名なのが灯台です。灯台も実は微妙らしいんですが。灯台の光は船の航行を安全にするために使われる。それはだれが使っても構わない。見ちゃだめというわけになかなかないかないですね。ですから、その光の利用を排除することができない。かつ、この船が独占的に見て、ほかの船が見ることができなくなるということがないということで、利用するとき競合することもない。こういうような性質を持った財が公共財と呼ばれるものです。

他方、例えば私が持っているコンピューター、お金、食べ物。私が消費するときにはほかの人に消費させないことができますし。もちろん法律がしっかりしているなど、いろんな条件がありますが。それから、私がアイスクリーム食べてしまうとほかの人が食べられないとか、利用での競合性が存在する。それは私的財です。

消費の排除不可能性と非競合性と言いますが、こういった性質を持っているのが公共財と呼ばれます。公共財というのは、私的財だったら私が自分でアイスクリームを食べたかったら自分でお金を払いますが、公共財はだれでも利用が可能ですので、お金を取るなどできないという性質があります。ですから、だれも供給しなくなってしまうという事態が発生しやすいというわけです。そのときには国内ですと国家とか政府が出てきて、それを供給することになる。それで公共という言葉が使われているようです。

こういった性格の財がグローバルにも存在するのではないかというのを吉田先生が論文の中でも書かれていて、吉田先生は国連をその一例として挙げられています。国連は実は若干微妙で、メンバーを排除することもできますので、そう考えると、利用を排除することができると考えてしまうと必ずしも純粹なる公共財ではなくなってくる。実のところ、純粹な公共財は少ないので、その性質に近いものを公共財と考えます。一般には環境問題、温暖化の問題、それから経済成長、金融の安定と

か、疫病予防、紛争解決、難民保護、核拡散防止などはグローバルな公共財として広く考えることができるのだというように我々はとらえています。

公共財というのは普通は国内でしか議論しないものなのですが、グローバルにもそんなものがある。グローバルな公共財の供給はとても大事な問題で、これを解決しないといけないよね、どうしましょうかというのが我々の関心、問題意識です。

核拡散に戻りますが、核拡散というのはグローバルな安定とか秩序を、脅かしかねない。そうしますと、それを防ぐことは平和や秩序といったグローバルな公共財に貢献するだろうということで、核拡散の防止がグローバル公共財であるというふうに考えております。

核拡散をグローバルな公共財問題として位置づけて我々のプロジェクトの中で研究対象にしたわけですが、核拡散の問題に話の重点を移していきますと、核拡散問題に関していろいろな研究が出ていますが、どういうことに研究上の関心が集中しているのだろうかという点をざっと見ておきます。既存の研究のレビューですが、一番多い研究はやはり、なぜ核を保有するのかで、その研究・関心のもとで、多数の論文や書籍が出版されております。

核保有はなぜ起きるのかということとコインの裏なのですが、核兵器の廃棄はどうして起きるのかという問題も関心を集めています。例えばウクライナとか、南アフリカ、韓国、台湾、ブラジル、アルゼンチン、リビアなど、核兵器を持つとうとして結局途中であきらめてしまったという国が存在します。核を放棄してくれた国というのは国際の平和には望ましいので、どうしたらそれを実現するのか、そういう教訓をどうやって生かすのかという研究です。

ですから、核をなぜ持つのかということと、核をどうして放棄するのかという研究がやはり中心を占めています。

核を保有する理由としては3つぐらい挙げられています。1つが対外的な脅威の高まり。2番目が国内事情、それから政治体制。3番目が威信や規範の問題です。核を持つことによる威信です。そういったような要因が核の保有にどう影響するのかということの研究が多くあります。

ただ、後で触れますが、これらの研究で核拡散と言っているのですが、多くの研究は核兵器をなぜ持つのかという研究で、拡散ではないですね。核をなぜある国が持つのだろうかという研究は行われていますが、厳密に言うと、拡散の研究にはなっていません。拡散というのは非常に微妙でして、ある国が持つと、国際の力関係、構造と言いますが、これが変化します。構造が変化して、ほかの国がまた対応を変えてきますので、その結果としてまた情勢が変わってきます。そして、その結果として、ほかの国も核兵器を持ちます。またそれが構造を変化させます。拡散を研究するならば、特定の国がなぜ核兵器を持つのかという研究ではなくて、国際関係全体との相互関係、つまりミクロマクロリンクと言いますが、それも睨んだ研究をやらなくては本来はいけないはずなんです。しかし、核拡散の研究と言いながら、実際は核保有の研究になっているのがほとんどです。ですから、残念ながら、こ

これらの研究関心のもの、核拡散がなぜ起こるのかという研究は余り見たことがありません。

そういう批判は1人だけやっている人がおりまして、過去いろいろな研究を調べた結果、核拡散の定義がしっかりしていないという批判がありました。そういう批判が1個だけありましたが、拡散でなく保有の研究になっているというのが従来の研究で、次に見るように拡散に関する研究はありますが必ずしもうまくはっていない。

2番目の研究関心として、これは余り数はないのですが、これこそが拡散の研究だと思います。核の拡散が今後どうなるのかということの研究です。1960年代、ケネディ大統領の時代ですが、ケネディ大統領は、あと10年ぐらいたら世界に17か20の核保有の国がふえてくるかもしれない、一気に核が拡散するかもしれないとおっしゃいました。そういうように、核の拡散が今後どうなるかということは、昔から大きな問題でありました。

ケネディ大統領が心配したように核の拡散が一気に進むのか、それともそうでないのかというよう論争が行われております。ケネディ大統領は、核拡散が一気に進んで、10年以内に核を持つ国がどっとふえてしまうということを心配したのですが、今までのところ、そんなに核を持っている国はふえていない。逆に核を持つとしてもやめてしまう国もいるということで、最近では、核の拡散は一気に進まないかもしれないという観測が有力に成りつつある。

他方、それでも逆に、やっぱり一気に進む可能性があるんだという議論も根強くあります。ソ連が核を持って、中国が持って、その次にインドが持って、パキスタンが持ってというふうに関連的に広がっていますので、そういう核の拡散の連鎖、そして一気にそれ以降進むというティッピングポイント、これがもしかしたらあるのかもしれないという議論ですね。

そうでないという議論の論拠というのは、実際にそんなにふえていないだろうという点にあります。さらに、核兵器を持つことの理由というのは主に国内的な事情であって、対外的な脅威というものは余り関係ないんだと。その結果、対外的な脅威が高まっても核を持つことがない。政治指導者の性質とか国内政治体制が核の拡散には大きく影響するので、余りそんなにふえることはないのではないかという議論もあります。

今日は核拡散をシミュレーションでもって見てみたい。対外的な脅威というもので、核の拡散のかなりの部分を説明できます。核の拡散はそんなに一気に進まないという議論が主張している、「核の拡散は、対外的な脅威ではなくて、国内的な事情によって起きる」という議論はかなり怪しいと考えます。更に、おもしろいことに、シミュレーションをやってみますと、あるとき一気に核保有国がふえるという現象が観測されます。国際関係の状況次第では、ある地点までいくと一気に核兵器が拡散していくという状況もあり得るということになります。

3番目の研究関心なのですが、核拡散をどう防ぐかという研究があります。これは理論研究というよりも、どちらかというと政策研究になっていまして、ここでは私がやりましたシミュレーションで

は余り貢献するところはありません。したがって、2番目のポイントを中心に見ていくこととなります。

シミュレーションをやるときの問題意識は、先ほどの2番目の今後の核拡散はどうなるのかということなのですが、それをブレイクダウンして4つに分けます。1つは基本的な点でありまして、分権的な国際システムで核拡散が進むのか。この結果は直感的なものとは全く相反しません。

2番目なのですが、1955年と2001年の実際のデータを使ってシミュレーションを動かしたものです。1955年と2001年を比較しますと、国家の数が大きく変わります。1960年代にアフリカの独立国が増えますので、国家の数も増えました。つまりシステムのサイズが変化するんですね。そのような変化というものが核拡散のパターンにどのような影響を与えるのか。さらに3番目のポイントは、シミュレーションをや的过程中で、一気に核保有国が増えるという「勢い」が発生するかどうか。最後に、1955年と2001年のデータを使いまして、そのシミュレーションの結果、これがどれだけの現実的な妥当性があるのかというところを検証いたします。私はかなり現実的な妥当性があるんじゃないかなと判断します。

さらに2点目と3点目について細かく追加しますが、先ほどの2点目はサイズの変化ということです。1955年と2001年のデータを使った試行を比較いたします。核を保有する技術の拡散が今、進んでいます。パキスタンの核の拡散のネットワーク、北朝鮮がシリアに核の技術、核兵器を輸出しているなど、核保有技術の拡散が進んでいます。当初は、当初というのは1950年代ぐらいにおいては、そういう核拡散に参加できる国というのは非常に少なかった。しかし現在は、その核技術、核保有技術の拡散によりまして、核拡散ゲームに参加する国が増えてきている。これはサイズの拡大に当たるもので、サイズの拡大が拡散のダイナミクスに与える影響があるのかどうか。結論として、あると言います。

3点目、核拡散に勢いが発生するかということですが、拡散の流行とかティッピングポイントとかいうふうに言われていますが、これが存在するかどうか。さきほど述べましたように賛否両論があります。多くの研究はほとんど思考実験でしかありません。核の拡散などの国際関係の現象は実際には実験できませんので。社会現象を実験するというのはかなり難しいので、論理的に考えて、こうであろうという議論が闘わされています。したがって、合理的に考えても答えが出ない場合が多い。私の所属する大学の職員の方が以前ぼそっと漏らしていたのですが、大体、大学の先生とか研究者というのは理屈を考えるのは得意ですので、何だかんだ理屈を考えてしまうんですね。そういうことになると、思考実験をやってもなかなか結論が出ないということで、物理的な実験、シミュレーションをやる必要があります。

シミュレーション研究をこれからご紹介するのですが、従来の拡散モデルには様々なモデルがあります。核拡散にかかわらず、例えば流感、風邪とか、火災とか、うわさとかですね。これには社会学

の閾値モデルなどがありますが、核拡散はそれらと大きく違っていて、ゲームの構造、力の配分とかゲーム盤と言いますか、こういったものが変化してきます。つまり核を持った国があらわれるたびに国際関係の力の配分が変化しますし、極端な場合、それまで囚人のジレンマゲームだったものが例えばチキンゲームに変化してしまうとかいうように、ゲーム関係が変わってしまうものがあります。

このように、イベントが状況を変化させて、その変化が新たなイベントを生み出していくという、ミクロマクロのリンクが発生するのが核拡散です。火災というのは若干それに近いのかもしれませんが、焼けたところに火災は再び発生しませんので。核拡散はそれよりもっとダイナミックに変化していく。そういうものを考えるときにはシミュレーションがいい。

一言だけ、シミュレーションの説明に入る前に、こんなもので核拡散を説明したんですかと言われないように事前に予防線を張っておくのですが、非常に単純なモデルです。現実をそのまま持つてくることは非常に難しい。データは現実のデータを使いますが、モデルそのものは極めて単純です。現実を抽象化した形でモデルとして組み込んでいます。

社会科学のシミュレーション研究者でアクセルロッドという人がいまして、ミシガン大学の先生です。彼はもともとソ連研究にもかかわっていました。また、人の頭の中は世界をどう見ているのかという認知地図、コグニティブ・マップというのをつくるというような研究もやっていた方ですが、あるとき80年代に囚人のジレンマゲームの繰り返しゲームをトーナメント形式でをやりますと公募した。いろんな人に、どんな手を組み合わせた戦略がいいかという、公募をしたのです。多くの人がいちいち戦略を考えて応募しまして、それでトーナメントさせたところが、ティット・フォー・タット、しっぺ返し戦略と呼ばれますが、それが一番成績がよかったというおもしろい研究をやりました。それからシミュレーション研究者として非常に有名になった方です。ティット・フォー・タットというのは、前のターンに、相手が裏切ったら自分は1回裏切って、相手が協力したら自分も1回協力するという、相手の手をそのまままねていくという戦略です。これがいろいろな戦略の中で一番得点が高かった。本当に勝ったかどうかにはいろいろな評価があって一概には言えないのですが、負けなかった戦略というのは確実です。

そのアクセルロッドが言っていることに、KISS原則というのがあります。“Keep It Simple, Stupid”と言うらしいのですが、できるだけシミュレーションのモデルは単純にしてください。複雑にすればするほど明らかにしたいことがわからなくなります。ですから、モデルはできるだけシンプルにしてください。シンプルにすれば何がどこで起きているのかわかるので、その結果の分析がやりやすくなります。そういうKISS原則というのを言っております。

私は、必ずしもKISS原則を守らなくてもいいと思っているのですが、ここではKISS原則を一応守っております。そういうKISS原則を使いまして現実をできるだけ抽象化しておりますので、それ

によって見たい部分の分析が可能になります。ただ、抽象化した、非常に単純化したモデルですので、その結果というのはあくまでもモデルがつくり出す結果でしかありません。その結果の評価には注意が必要だということです。一番最後のほうに 1955 年のデータを使った結果をご紹介しますが、3 分の 2 ぐらいの確率で予測が当たっております。ただ、モデルが非常に単純なモデルでしかありませんので、その結果の評価にはあくまでも注意する必要があります。

それから 2001 年のデータを使って将来どうなるかを予測したものがありますが、これも後で紹介しますが、一番可能性があるのがドイツです。それはあり得ないでしょうねと普通の方は思うので、それはモデルが単純だからそういうことになってしまうわけです。ですから、あくまでも単純なモデルによる結果であるということを、先に予防線を張っておきます。

作ったシミュレーションですが、Java 言語を使いました。Version 1.6 という最新版でありまして、Eclipse という開発環境を使いました。これは両方とも無料で手に入りますので、もし関心のある方は、インターネット検索していただければすぐに出てきます。最新版がガニメデという名称でありまして、その前がエウロパ。木星、ジュピターの周りを回っている衛星ですね。あれをバージョンごとに名前をつけているようでして、エウロパの後が今度はガニメデということになってます。

この 2 つを使ってシミュレーションのモデルをつくりました。その他に我々がつくりました GPGSiM というシミュレータがあるのですが、まだファイル読み込み機能が十分でなかったために、このシミュレーションのモデルつくっているときには、GPGSiM は利用可能ではありませんでした。CSV ファイルというのはデータをカンマで区切っているものです。エクセルなどで読み込むときに非常に便利なものがありまして、この CSV ファイルの読み込み機能をつけた GPGSiM が昨日利用可能になりまして、徹夜してつくろうかと思ったのですが、今日もうろうとしながら報告をするわけにはいかないので、それはあきらめました。まがりなりにも読み込み機能がつきましたので、これから GPGSiM のほうに移しかえていこうかと思っています。

他のシミュレータについても軽くご紹介すると、シミュレーション環境として国内で有名なのは、東大の山影先生がつくった artisoc です。これは非常に利用者が多いソフトであります。

山影先生は国際関係を研究するために artisoc をつくったのですが、実際多くは経営学とか、交通工学とか、国際関係でない人が多く使っているようになっています。非常に性能がよくて、河川の氾濫モデル、あるいは交通渋滞のモデル、これを実際の地図をこの中に取り込めるような機能を持っています。それを使って現実に近いモデルをつくることができるようになっています。非常に工夫されています。

それから、慶應の井庭先生がつくっている platbox がありまして、これは経済学の人々が主に使いやすいものとしてつくられているものです。ただ、platbox はシミュレーションの基本的な考えを知っておかないと使えないという、若干敷居が高いものになっています。

東工大の出口先生が関わっている soars もあります。アメリカでは、RePast、シカゴ大学がつくっているものです。それから Mason というのはジョージ・メイソン大学が提供しているシミュレーション環境です。これらは Java プログラムの細かいところまで全部知っておかないと使えないものです。他方、上記の artisoc などはプログラムについて知らなくてもシミュレーションをできるんですが、ただ、どうしてもある程度コーディング能力が必要になります。GPGSiM はほとんどプログラミングの知識を必要としないものを目指していますが、なかなかその目標は高く、いろいろ苦悩しているところなんです。

さて、プロジェクトでお見せしているのが、Eclipse です。Eclipse というのはこういうようなプログラムでして、ここでコードを手書きしていくことになります。これはすごく短くてわかりやすいのですが、多くなると 200 行、300 行というふうになっていきまして、それらを全部合わせてプログラムを実行させます。

こういうようなものを作っているのですが、それをつくっていく際には、モデルを考えます。核拡散のモデルはどうなっているかといいますと、基本的には国家とその間の関係だけで構成されています。国家はエージェントと呼ばれています。国家には属性がありまして、名前や id 番号などがあるのですが、基本は国力です。それから核兵器を持っているかどうかを記録しておく変数、フラグというふうに呼んでいますが、この 2 つが重要です。

そのエージェント、国家間の関係は 2 種類のものがあります。1 つが友敵の関係です。いわゆるポジティブ・フィードバックとして働くものでありますが、友と敵の関係ですから友好的か敵対的かの値を持っていて、最低がマイナス 1 で最大が 1 となります。マイナスだったら敵対的で、プラスだったら友好的だということです。

2 つ目が核保有抑制関係といいまして、抑制リンクとかいうふうに呼んでいますが、ネガティブ・フィードバックとして働くものであります。値はゼロ以上で、限界はありません。それぞれが開始ノードと終点ノードを持つ有向リンクでありまして、それぞれの重みを持っています。核保有抑制関係というのは、これは基本的には核兵器の保有をやめさせるようなもの。それは例えばアメリカの日本に対する圧力ですとか、または平和団体、国際的な世論とか、それらを全部含めたものです。

## エージェントの値

- 初期値データ
  - Correlates of Warのデータ
  - <http://www.correlatesofwar.org/>
- 国家
  - State System Membership (v2008.1)
- 国力
  - National Material Capabilities (v3.02)
  - 軍事支出, 鉄・鉄鋼消費, エネルギー消費, 計算処理された国力指標CINC(Composite Index of National Capabilities), 人口, 兵力など

スライドを細かく見ていきますと、まず、各エージェントがどういう値を持っているかです。J・デビッド・シンガーが中心としてつくりました Correlates of War というデータベースがあります。これも無料で利用可能です。アドレスはそこにありますので、もし関心のある方はそこを開けていただければいいのですが、いろいろなデータがあります。どういう国家が存在したのかというのが、ステート・システム・メンバーシップというデータセットです。これは各年にどの国が独立国としていたのかということが出ています。冷戦が華やかでありつつ、安定し始めた時期という 1955 年と、それから冷戦が終わって少し落ちついた 2001 年と、この 2 つの年をデータとして使っております。

次に、国力のデータですが、これはまた別にナショナル・マテリアル・ケパビリティーズというデータがありまして、それはステート・システム・メンバーシップに出ている国家のリストに従いまして、軍事支出、鉄と鉄鋼の消費量、エネルギーの消費量、人口、兵力のデータがのっています。また、CINC という、これらを全部合わせて計算した国力の指標なんですけど、そういった指標で各国がどれだけの国力を持っているのかを示したデータが入っています。これらをプログラミングで読み込みまして、各国に持たせております。

それから友敵関係リンクですが、これは有向リンクで、値としてマイナス 1 とプラス 1 の間をとっています。マイナス 1 に近いほど敵対的な関係でありまして、その敵対的な 2 国間で、国力の差が

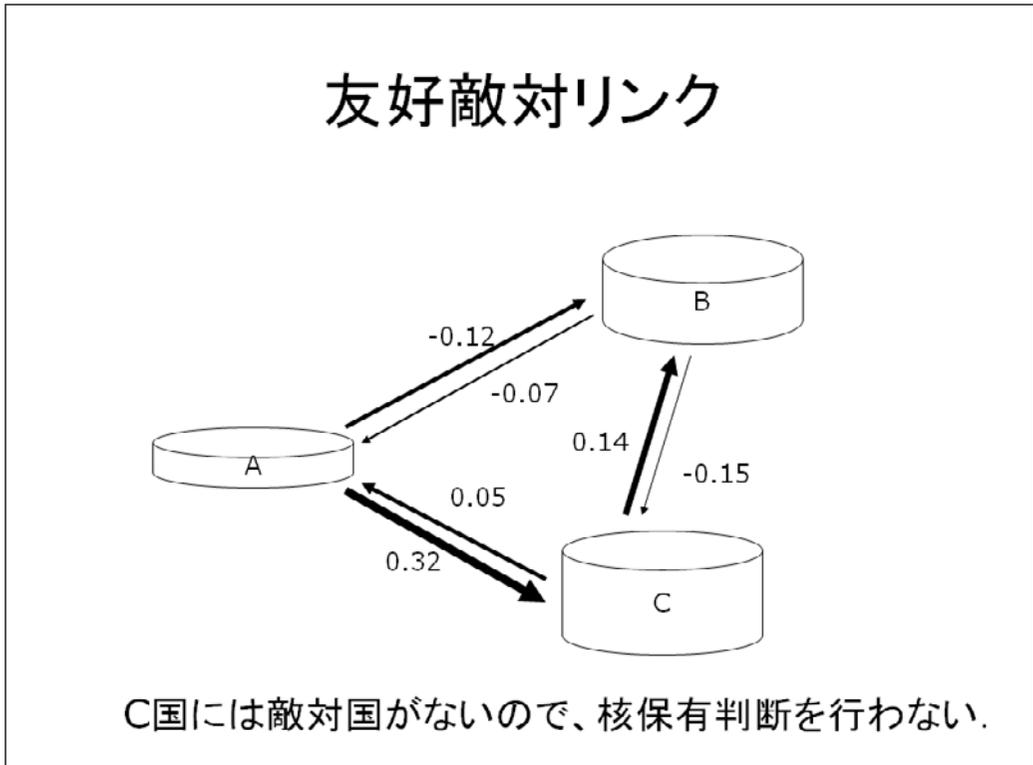
大きければ大きいほど対抗措置をとらなければいけないという必要性が高まります。その対抗措置としては、まず、ほかの国と同盟を組む。同盟関係を組んでも対抗できないときは核保有に走るという、このような対抗措置になります。

プラス1に近いほど友好的な関係ですので、同盟構築の際に、プラス1に近い国との間ほど同盟成立の確率が高まる。だから0.1ですと同盟成立の確率としては10分の1なんです。1に近いほど同盟成立の確率が高まるようになっています。

その友敵リンクの値の設定なんです、これも *Correlates of War* の、*Militarized Interstate Disputes* というデータを使いました。これは非常に使いにくくて、これをさらに使いやすくしてくれている *EUGene* というプログラムがあります。これは、すみません、アドレスを記し忘れたんですが、*EUGene* で検索していただければ、一番最初、ユージンという町がありますのでそれが出てくるんですが、しばらく下のほうへ行くと *EUGene* というプログラムがヒットします。それもまた、無料で利用可能になっています。

そのデータから必要な2国間の紛争指標、0から4の間のインテジャの値をとりまして、これは1945年からシミュレーションを開始する年の前年、ですから1954年か、または2000年まで、これの値を合計して、それをマイナスにして標準化したものを友敵リンクの値としてまず設定します。

それから、もう1つは友好関係なんです、これはフォーマル・アライアンスというデータがありまして、各年に同盟関係が存在したかしないかという値なんです。それらを全部1945年からシミュレーションの開始の前年まで足していきます。これを標準化します。マイナスの値とプラスの値が同時に出る場合、つまり紛争しつつ同盟が存在していたというケースですと、これは計算が難しいので、ゼロにしてしまいました。それでいいのかどうかという問題が残りますが、どういうふうの設定するかの理屈が立たなかったのでゼロにしています。それ以外はマイナス1からプラス1になるように標準化しています。このように計算した友敵関係がエージェント間に存在しています。



スライドにあるこのCの国を取り上げてみますと、Bの国に対しては、プラスですから友好的な関係になっています。Aの国も友好的な関係になっています。C国には敵対的な国がないので、核保有とか同盟関係の判断というは行わないということになっています。

他方、B国ですが、B国にとって、A国よりもC国との敵対度が大きい。マイナス0.15とマイナス0.07という敵対度になりますので、A国よりもC国との敵対度が大きいので、C国に対抗することが重要となります。この場合、両方とも敵対関係ですので、同盟関係は成り立ちませんから、核を持つかどうかという判断にいくというふうになります。

次にA国なんですが、A国はB国と対立関係にあります。マイナス0.12ですから。しかしC国とは友好関係なので、A国の場合に関しましては、C国と0.32%の確率で同盟を考える。こういうようなことを計算させます。

## 核保有牽制リンク

- 核保有を牽制する諸力の合計
- リンク重みの操作化

$$r_{ij} = \left( p_j \div \sum_{k \neq i}^n p_k \right) \times p_i$$

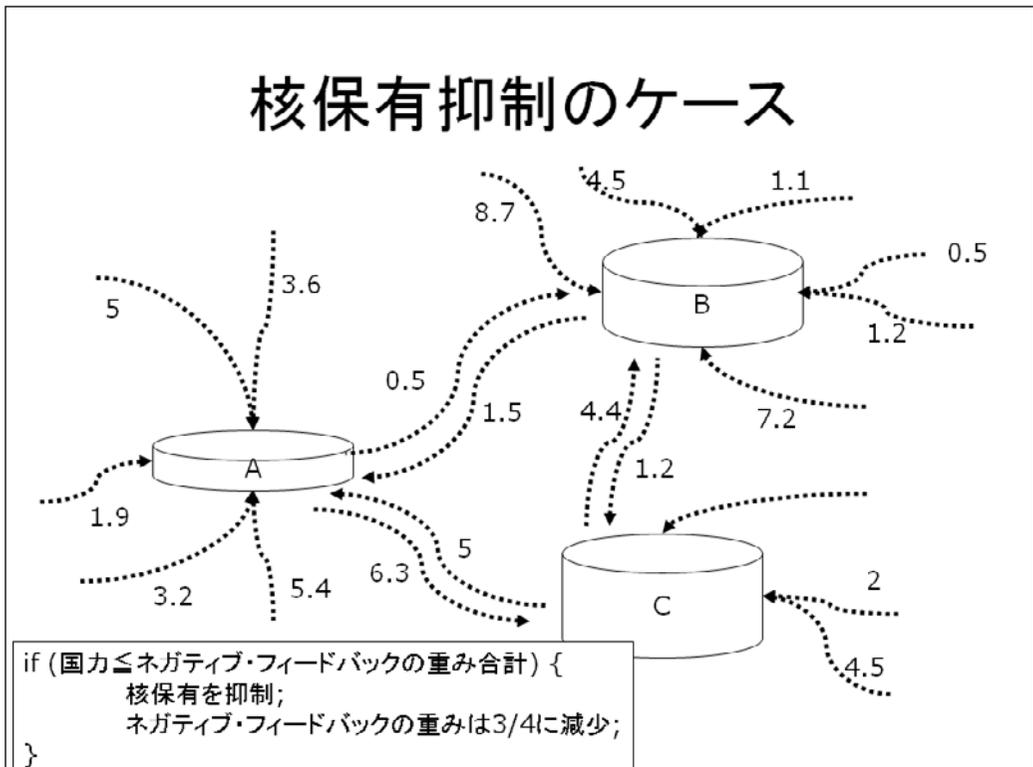
$i$ 国から $j$ 国へのリンクの重み  $r_{ij}$

$j$ 国.国力( $p_j$ )が $i$ 国以外の世界諸国.国力に占める割合に応じた、 $i$ 国の国力分

核保有の牽制のリンクなんですが、これは核保有を牽制するいろいろな諸力を合計したものと考えています。そのリンクの重みなんですが、すみません、計算式がありますが、非常に簡単なことで、ある国、 $i$ 国から $j$ 国へのリンクの重みをどう計算するかというもののなのですが、 $j$ 国が世界の中でどれだけの力を占めているのか。それに応じて $i$ 国のほうが自分の国力を割り振ると。その値を仮にリンクの重みというふうにしています。

ですので、例えば日本という国が非常に大きな力を持っていて、それが核を持つかもしれない。アメリカはそれが非常に心配だから、アメリカは日本に対する核の牽制を強めるというような関係になっているということだけです。

式をつくりましたが、言っていることは極めて簡単です。この操作化がそれでいいのかどうなのかというのは問題にはなりますが、ここではこういうような形で操作化しております。



核保有抑制リンクというのはこのスライドのように張られておりまして、各国間に全部存在しています。

核保有候補国 B 国に関しましてどういうふうに判断するかと言いますと、同盟関係がうまくいかなかった場合の段階なんですけど、B 国は、B 国につながるそのリンクを全部足し合わせます。例えば日本のように、核を持ったら危険だと思われている、またそれなりに国力がある国というのは、そのリンクの重さが重くなっていますので、それらを全部合計しますと、日本は国際世論を考慮して核保有ができないというようになります。アメリカからの圧力を考慮して、核保有を断念するというイメージでしょうか。

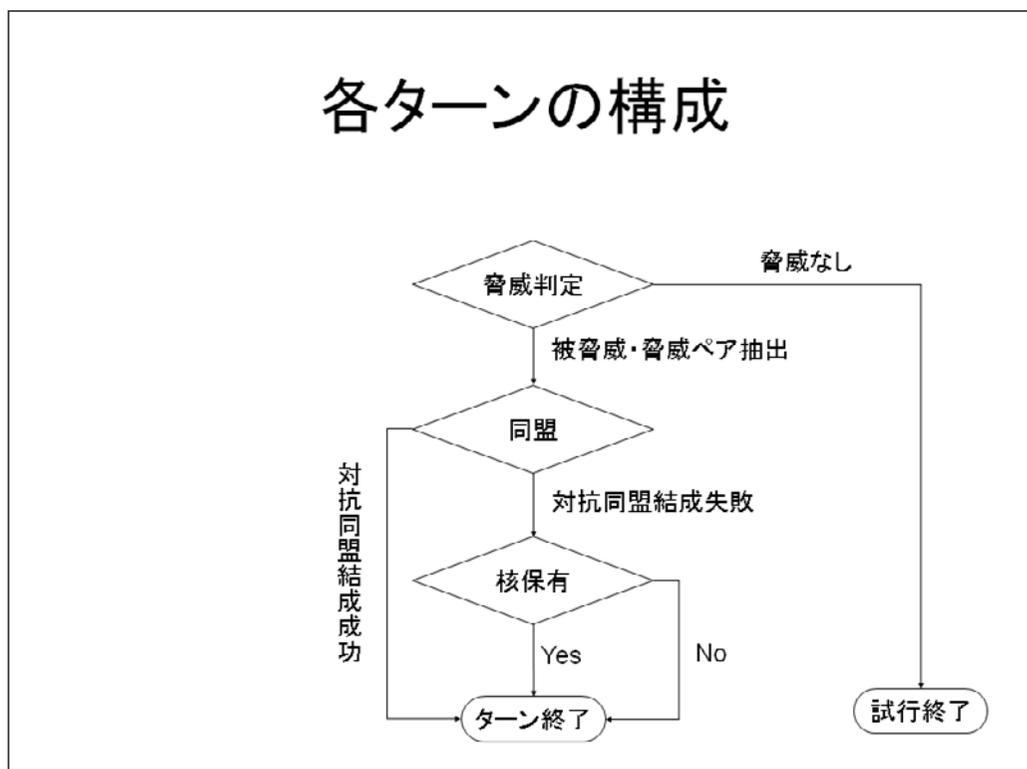
しかし、その重み、核保有抑制のリンクが余り重くない場合、そして国力がある程度ある場合は、抑制リンクよりも国力の方が重くなる。押さえつけているリンクよりも国力のほうが重いので、核保有に走るとなります。

このスライドの左下の部分はプログラマ的に書いただけなんですけど、核抑制がうまく効いてしまった場合に関しましては、そのリンクの重みというのは、そのままではなくて金属疲労のようなことを起こす。1回抑制に成功したらその抑制の力がさらに強くなって、もっと抑制が効くという考え方もあり得ます。しかし、ここでは、その考え方ではなくて、1回、国際的な圧力で核保有がやめられ

でも、しかし次にやるときはもっと本格的にやろうという勢いのほうが強まるでしょう。したがってネガティブ・フィードバックの重みというのは減少します。このシミュレーションで4分の3に一気に減少させますが、別にこれは7分の1でも、20分の1でも構いません。4分の3にしたほうがシミュレーションが速くなります。結果は余り変わりません。ということで、4分の3に減少させます。

以上がモデルでして、非常に単純です。つまり対外的な脅威だけで核を保有するかどうかの判断が生まれます。同盟関係で対抗ができるかどうかを計算した上で、核の保有を判断するという非常に単純なモデルになっています。

国内の要因とか、規範とか、国際制度とか、そういうものはモデルの中に明確には出ていません。敢えて言えば、その一部は核保有を牽制しようとするリンクに含まれていると考えられます。このリンクの操作化が難しく、これをどうするかということはいつも悩んでいるんですが、今のところは、さきほど言いましたように、国力を相手の国の国力に応じて割るとしております。



以上がモデルの説明です。次に、試行のステップ、ターンはどうかですが、最初に脅威判定のステージに入ります。ここで脅威を感じる国は一切ないという状況になったとすると安定状態になりまして、そのシミュレーションの試行は終了いたします。

脅威を感じる国があると、被脅威国と、それから脅威を与える国のペアを全部抽出いたしまして、その中から1ペアだけ取り出します。そのペアを取り出しまして両国に考えさせます。脅威を受けている国が同盟関係をつくれるかどうかという同盟ステップに入ります。同盟関係をつくって、脅威を与えている国に対抗するだけの力を形成することができるとするならば、そのターンは終了いたしまして、次のターンに行き、再び脅威判定のステージに入ります。対抗同盟に失敗した場合、つまり脅威を与えている国に対する同盟力を結成できなかったという場合については、核保有を判断するというプロセスに入ります。そこでは、核保有する、しない、どちらになっても、ターンはそれで終了ということになります。核保有をしますと、保有した国の国力を仮に10倍増やしています。核保有にできなかった場合、つまりそれは周りからの抑制のリンクの重さが強くて、国力がそれを十分打破できなかったという状況ですが、その場合は、その国に全部つながっているリンクの値を4分の3に減らすということになります。このようにターンを繰り返していきます。

最大ターン数は1万ターンです。このモデルでの試行は、コンピューターを丸1日動かしています。1955年と2001年に関しまして、それぞれ丸1日動かさないといけない。特に2001年は時間がかかります。

乱数を使っているため結果にぶれがあります。何回か繰り返して結果の安定性を見なければいけないのですが、25回しかできていません。1万ターンで25回繰り返しますと一日かかります。100回繰り返すと4日かかるんですね。本当は1万ターンではどうもおもしろい結果が出ないかもしれないので、10万ターンぐらいやりたい。しかも、ある程度安定した結果を得るためには1,000回ぐらい繰り返さないといけないので、そうすると1年間コンピューターを動かさないといけないということになります。これは私の使っているワークステーションでは難しい。今のところは不満なんですが、1万ターンで終わっています。

さて、脅威判定ステップで何が行われているかですが、さきほどの流れ図を細かく見てみます。核保有国を除いた国を取り出しまして、その各国が最も脅威と感じる国を選ばせます。それは友敵関係の重みと相手国の国力を掛け合わせたものでありますから、値はゼロ以下になります。

それらをペアとしてつくりまして、そこから次のステージに行くペアを選びます。方法としては2つ考えていまして、1つは、最も大きな脅威を受けている国の組み合わせを選択する。例えば全てのペアの中で日本が中国の核の脅威を最も大きく受けているとすると、日本と中国のペアを選ぶというようになります。例えばアメリカとキューバで、キューバがアメリカの脅威を一番受けているということになりますと、アメリカとキューバを選んでいく。もし同じような値というのが仮に偶然に2つ、複数あるとするならば、乱数でもって選んでいくことになります。

これですと、実は、後で見ますが、かなり早い段階で安定状態になってしまいます。つまり同じ国がいつも選ばれて、同盟関係の構築に成功すると、もうそれ以上進まない。したがって、それはずっ

と繰り返すこととなりますので、安定状態になってしまいます。余りおもしろい結果は出ません。

もう1つは、国力比に応じたルーレット選択という方法でして、脅威を受けている国の国力が最も大きい国が選ばれやすくなるように乱数を使います。まず、すべての脅威を受けている国を選びまして、すべての国力を計算しまして、標準化いたします。全部足すと1になるようにするわけですね。例えば日本ですと、国力が大きいわけですから、0.3とか、そういう大きい値が振られます。そしてルーレットを回します。ルーレットと言ってもコンピューター上にルーレットはないので、擬似乱数、ゼロから0.1の間のどれかの数字が出るようになっていますが、どれが出るかわからない仕組みがあるんですけど、その乱数を使って、その値のところに入った国を選ぶことになります。例えば日本が0.3、アメリカが0.4とすると、ゼロから0.3までが日本、それから0.3から0.7までアメリカというように、それぞれ範囲を持っていて、その乱数でもって出たところの国が選ばれるとなります。こうすると、安定状態になることなく、シミュレーションが続くこととなります。基本的には国力が大きい被脅威国が選ばれる可能性が高くなるわけですが、国力が低くても選ばれる可能性は出てくる。

## 同盟ステップ

- 同盟構築
  - 友敵関係のリンクを辿り、脅威国と被脅威国が同盟を作れるかを検討
    - 友敵リンクの値(>0)と乱数で確率的に判断
    - 双方に友好的な国は中立国
- 核保有判断
  - $\sum \text{被脅威国同盟.国力} < \sum \text{脅威国同盟.国力}$ 
    - 被脅威国が核保有判断ステップへ
  - $\sum \text{被脅威国同盟.国力} \geq \sum \text{脅威国同盟.国力}$ 
    - このターンは終了

同盟構築のステップですが、同盟構築はスライドのような手順になります。シミュレーションのこの段階ですと、1つのペア、脅威を受けている国と脅威を与えている国のペアが出てきますが、それ

ぞれ脅威を与えている国と脅威を受けている国が同盟関係をつくれるかを検討します。これは友敵リンクの値と乱数でもって確率的に判断するようになっていきます。例えば日本とアメリカで友好関係が1だということになりますと、当然、自動的に日米関係の同盟はその段階で成立するということになります。ただ、中には脅威国と被脅威国の双方に友好的な国も存在しますので、これは中立国にしておきます。

同盟ステップで国力をどう計算するかというと、被脅威国の同盟の国力を合計したものと、脅威国の同盟の国力の合計を比較しまして、被脅威国の同盟のほうが国力が小さければこの同盟では対抗できないと判断され、核保有判断のステップに行きます。逆に脅威国の同盟の国力の合計のほうが少なければ、つまり脅威を受けている国の同盟のほうが国力が上回っていけばもういいということで、このターンは終了します。

## 核保有判断ステップ

- $\sum$ 被脅威国が持つ抑制リンク.重み < 被脅威国.国力
  - 被脅威国の核保有
  - 被脅威国.国力 × パラメタ指定の値( $0 < w, w = 10$ )
- $\sum$ 被脅威国が持つ抑制リンク.重み  $\geq$  被脅威国.国力
  - 核保有を抑制
  - 抑制に成功した抑制リンクの重み × 既定の定数( $0 < r \&\& r < 1, r = 0.75$ )

次は核保有の判断ステップですが、核保有の判断をどうするかというと、先ほどの操作化が難しい抑制リンクが出てくるんですが、脅威を受けている国が持つ抑制リンクの重みを合計しまして、そして被脅威国の国力と比較します。被脅威国の国力のほうが大きければ核を保有いたしまして、被脅威国の国力にはパラメータで指定した値、シミュレーションの中では10にしていますが、を掛け合わせます。100なのか10なのかというところは検討しなければいけないんですが、今、一貫して10に

しています。それから、被脅威国が持つ抑制リンクの重みのほうが大きければ保有を抑制するわけですので、被脅威国は核兵器保有を断念いたします。

ただし、抑制に成功した抑制リンクの重みというのは、金属疲労みたいなものを起こす。次に同じ国が保有候補国としてあらわれたときには、さらに核保有の努力を倍増するというふうを考えまして、既定の定数を掛けて、その値を減らしていくこととなります。ここでは0.75を掛けることにしております。つまり、4分の1だけ減らしております。

試行の終了条件は、最大ターン数が1万ターンを超えたときか、すべての国が核保有国になったとき。全ての国が核保有国になった場合はまだ一切現れていません。10万ターン、100万ターンまでいったら、もしかしたらこういうことがあるのかもしれませんが。加えて、脅威を受けている国が存在しないという条件のときも終了条件ですが、ほとんど2と3の終了条件は成立しませんで、大体1万ターンまで行って終わっています。

1955年当時のデータは84カ国です。2001年当時のデータは191カ国です。これを使用して試行しました。1955年は国の数が少ないので計算はかなり速く進みますが、2001年の場合は国の数が多いので、非常に長く時間がかかっています。以上が、モデルと、データやターンの構成です。

これからが結果についてのご報告ということになります。まず1番目なんですけど、国内でありませぬので、無政府状態、アナーキーな状態になります。国際関係の研究者はアナーキーという言葉も頻りに使いますが、法律の方にアナーキーということを使うと、国際関係はそんなひどいところなのかみたいに言われるんですけど、アナーキーというのは中央政府が存在しないという意味だけです。誤解しないようにしていただきたいと思います。

その分権的な、アナーキーな国際関係で、エージェントである国家は他国を支配することを目的としていません。攻撃的なエージェントではありません。脅威があったときに、それに対して同盟をつくって核兵器を持つという、そういう防御的なエージェントでしかありません。そういうエージェントだけで構成されているシステムで果たして核保有国は増大するかどうかですが、これは増大しています。後でお見せいたします。

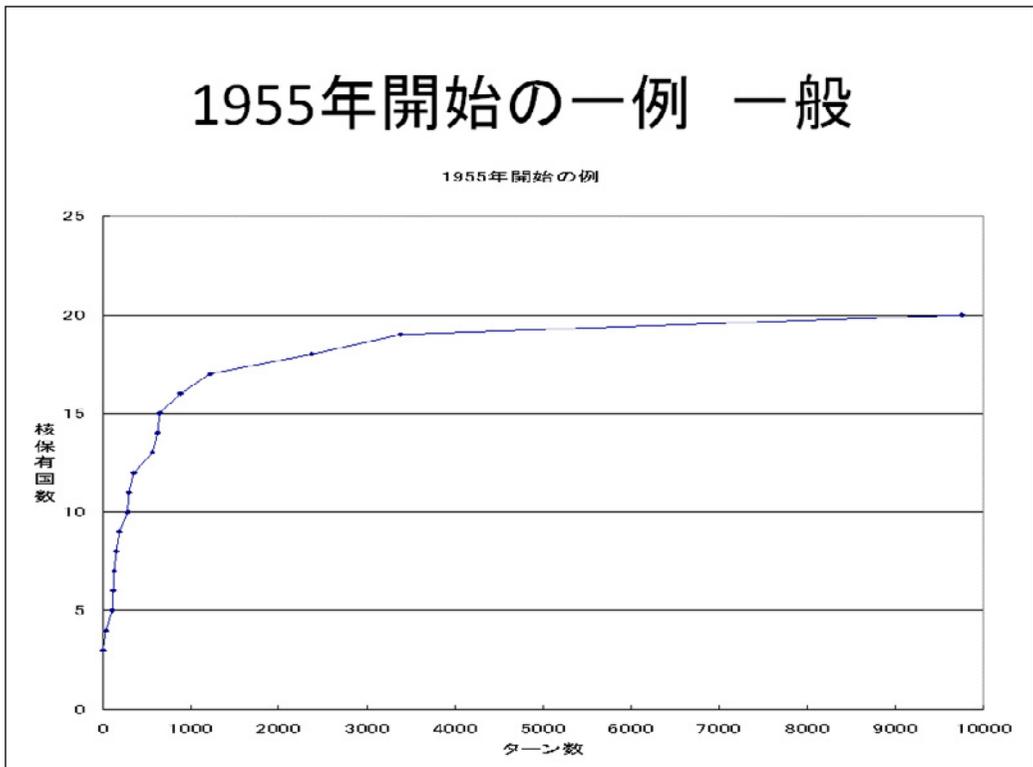
ただし、先ほど言いましたように、被脅威国・脅威国のペアの選定の段階で、最も脅威を受けているものだけ選ぶという手順をとりますと、すぐ定常状態に陥ってしまいます。例えば中国から台湾が脅威を受けているということで中国と台湾を選ばすと、アメリカと台湾は同盟関係にありますので、アメリカの持っている力と台湾の力を合わせれば当然、中国に対する抑止が効きます。ですので、台湾は核を持たないということで終わってしまいます。最も脅威を受けている国が台湾であるという状況は変わりません。それがずっと繰り返されて、もう進まなくなります。この手順では一応定常状態になってしまいますので面白くない。敢えていえば、この定常状態が出現したことから、要するに同盟による保障が核を抑止する上では大事なんですよという一般的な結論が出てくるのかと思いま

す。この結果は私には余りおもしろくなかったのですが、次から少しずつおもしろくなると思っております。

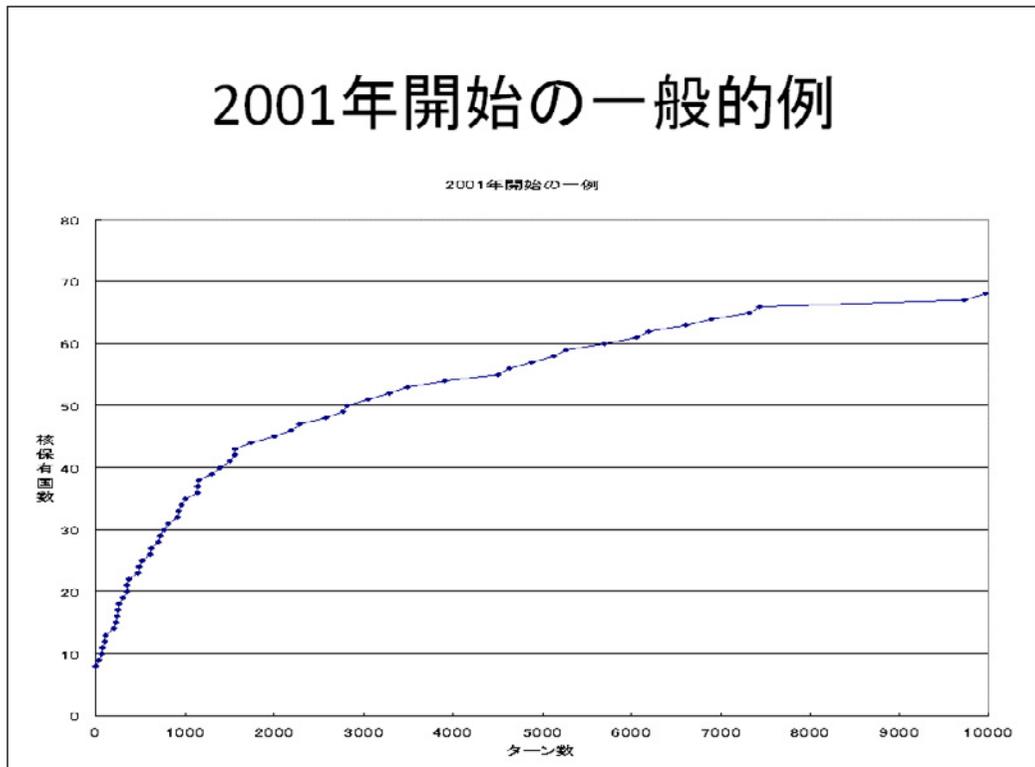
1955年と2001年のデータを比較しますと、1955年よりも2001年、国の数がふえまして191になったんですね。2001年のほうは拡散が大規模かつ速やかに進んでおります。まず規模なんです、1955年について25試行の平均をとっております。既保有国を除いています。84カ国の中で核兵器を持った国は平均16.4カ国でしかありませんでした。2001年に関しましては191に国の数がふえています。2001年の段階で核を持っている国を除きまして、各25回の試行の平均なのですが、69.96の国が核兵器を持ちます。これは統計的に処理はしていないのですけれど、見ていただければ明らかなように差は歴然としてあるわけで、2001年のほうが核を持っている国の数は多くなっています。

さらにスピードなんです、このように計算しました。既保有国を除きまして、平均が16と、69から70ぐらいですから、どういうふうはこのスピードをはかるかなんですが、仮に15カ国目をとりまして、その国が保有を決定するまでターン数がどれだけかかったのかを計算し、それを保有国数の15で割りました。これをスピードというふうに操作化しました。それで計算してみますと、1955年は471.5ターンで、これが平均でした。25試行です。2001年ですと241.2ターンというふうに速かった。国の数がふえると速くなるということです。というように、核拡散の規模が大きくなって、かつスピードも速くなっています。

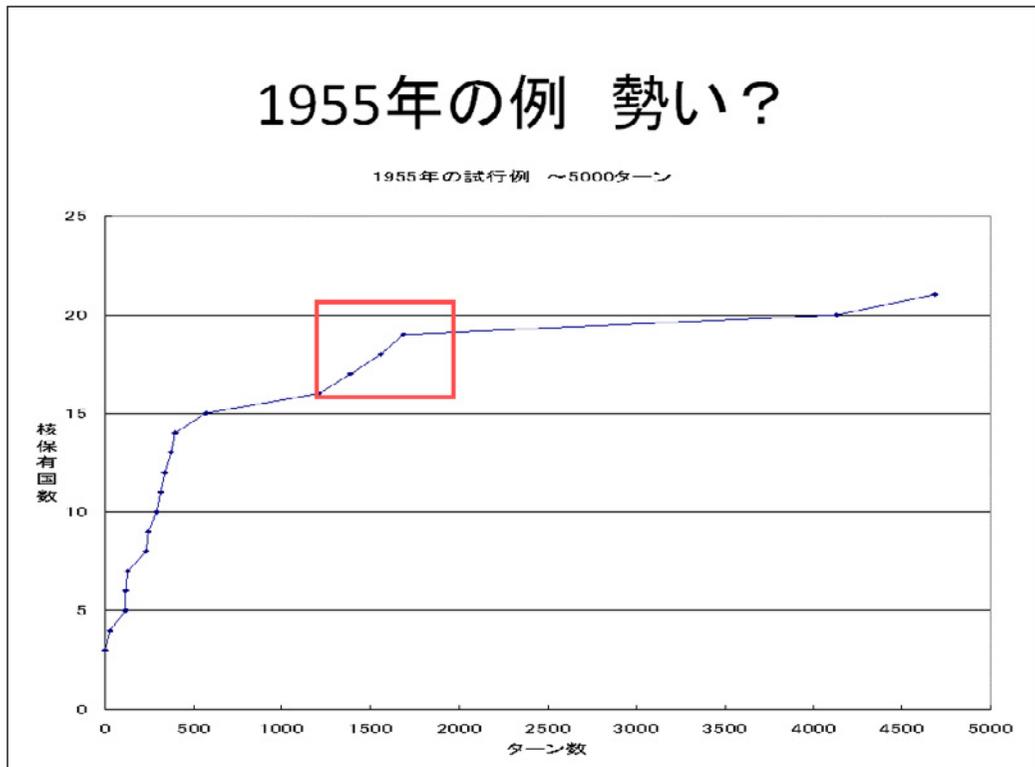
ここから何が言えるかなんですが、国際システムのアクター、テロ組織は入っていませんけれど、現実にはテロ組織も国際システムにいるわけで、その数がふえていくほど拡散が実は促進してくる可能性がある。今のように国家のみならず、ほかにさまざまなアクターが出てきている中では、核拡散はさらに促進される可能性が高くなってくる。さらに技術的な障壁の低下によって、核にアクセスすることができる、核兵器を持つことができる国というのも1955年よりふえてきているわけです。そういう意味では、今の状況は憂慮すべきものではないのか。



3番目が拡散の勢いですが、多くのパターンを見ますと、単純に保有国がふえていくパターンが多い。スライドを見ていただきますと、1955年開始の1つの例です。これが非常に多いパターンでありまして、横軸がターンの数で、1万ターンまでいっています。縦軸が核保有国の数なんですが、一気にふえまして、その後はなだらかに進んでいるというのがパターンとしては非常に多いです。

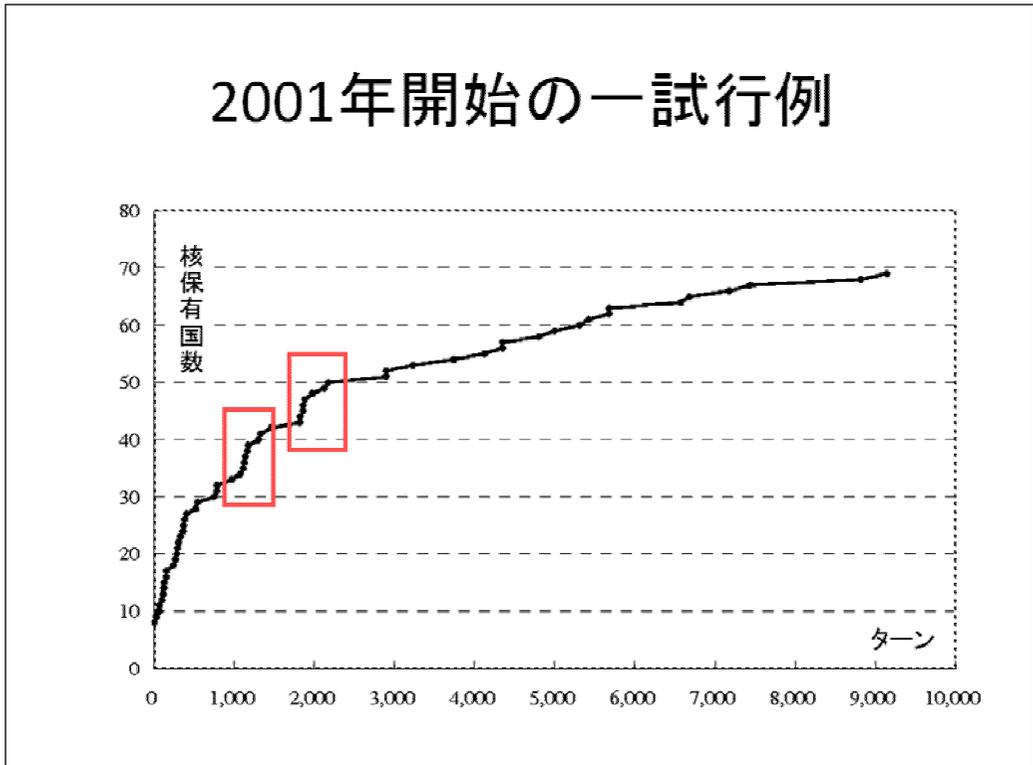


飛びますが、2001年の開始の例としまして、このように非常になめらかに核の保有国の数がふえていくと観測されるパターンも多い。



しかし、中には、ある国の保有をきっかけに、連続して核保有国がふえるというパターンがあらわれることもあります。このスライドを見ますと、1955年からの事例なんですが、四角で示した部分ですけれど、大体1,300ターンあたりですかね。700ターンあたりから定常状態にいて、余り核を持つ国は増えなかったのですが、1,300ターンぐらいですか、そこである国が核兵器を持ちますと、それに引きずられるように、ほかの国も一気に核を持っていくというようなパターンが出てきました。

ちなみに、本来は1万ターンまであるのですが、4,700ターンぐらいに持った国があらわれた以降は核保有国は出ていませんでしたので、それ以降はグラフでは省いています。ですので、1万ターンに広げますと、もっとギュッと圧縮されて、この上がる角度が鋭く見えてくると思います。



さらに、これが2001年試行の一例なんですけれど、あるときになるとぐっと核の保有国がふえていくというような波形というんですか、形が2カ所ほど。最初の段階で核保有国が一気にふえるんですけど、その後しばらく落ちついても、また拡大していくのが観測されるパターンもあります。ですので、ある国の核保有が引き金になって拡散が加速する、ある種の勢いというのが発生することがやはりある。実際、歴史上、中国が持って、インドが持って、パキスタンが持ってというふうに拡散していきますので、こういうようなものは全くないから安心していいんだという、そういう楽観的な見方というのは疑問ではないか。

## 1955年開始での核保有国

順位	国名	得点	頻度	順位	国名	得点	頻度
1	China	410	25	11	Iraq	162	25
2	Sweden	367	25	12	Iran	154	25
3	Indonesia	350	25	13	Israel	122	25
4	Brazil	310	25	14	Peru	110	25
5	Switzerland	292	25	15	Italy	65	8
6	Argentina	291	25	16	Paraguay	46	25
7	Taiwan	280	25	17	Albania	43	25
8	Greece	202	25	18	Egypt	2	2
9	Venezuela	193	25	19	Czechoslovakia	2	1
10	Chile	183	25				

最後ですが、結果の確認ですが、現実との対比はどうか。それを検討するためにまず核保有国になった国のランキングをつくりました。25回試行をやりまして、既保有国を除いております。新規の保有国に得点を与えてランクをつけました。得点の与え方なのですが、各試行で最後に核保有になった国、これに1点与えます。最後から2番目の国に2点与えまして、一番最初に核保有となった国を、そこで核保有した国の数、例えば19カ国が核を保有したら19という得点を与えます。最初に核保有した国の得点が高くて、後で核を保有した国の得点が低くなるというふうにしています。それを25回分合わせています。

1955年では、核を持った国は19カ国が出ています。2001年で80カ国が出ています。スライドにあります表を見ていただきますと、1955年開始時点での核保有国ですが、1番が中国ですね。これは実際核を持ちました。それから2番目がスウェーデン。スウェーデンは核を持とうとして、途中でやめました。その次、インドネシア。ブラジル。ブラジルも同じように核を持とうとして結局やめました。それからスイスも実はそういう野心を持って試みたそうです。それからアルゼンチン、これも同じです。台湾ですね。その後、ギリシャとベネズエラとチリが続きまして、その後にイラクとイランです。それからイスラエル。あとはペルー、イタリア。イタリアは8回ぐらいしか出てきませんで、頻度が8になっています。これまでの国はイタリア以外25回の試行の中に顔を出してきてい

ます。それからパラグアイです。アルバニア、エジプト、チェコスロバキアと続きます。パラグアイとアルバニアは25回全部出てきていますが、エジプトは2回だけ、チェコスロバキアは1回だけというふうになっています。

これらがどう現実を説明しているか。1955年では19カ国中9国が保有、または保有未遂、または保有の疑惑があります。得点で見ますと、先ほどの得点の計算したのがこのスライドでして、チャイナが一番多くて410点、一番低いエジプトが2点とチェコが2点。核を持った（イタリック）、または疑惑がある、未遂した国（網掛け）の得点の合計を見ますと全体総計の67%、約3分の2です。ここで扱ったのは非常に単純なモデルです。国内情勢も入っていませんし、規範の作用もありません。核を持ってはいけないという日本みたいな規範が強いか、そんなのはありませんし、NPTもありません。単に対外的な脅威と国力だけでモデルをつくっていますが、それでも、これだけの説明力は持っています。

## 2001年開始で上位20国

順位	国名	得点	順位	国名	得点
1	Germany	1532	11	Spain	1218
2	Soudi Arabia	1531	12	North Korea	1210
3	Taiwan	1493	13	South Africa	1206
4	Iran	1390	14	Syria	1200
5	Singapore	1372	15	Vietnum	1195
6	Egypt	1366	16	Angola	1164
7	Sweden	1343	17	Venezuela	1155
8	Chile	1341	18	Argentina	1152
9	Malaysia	1317	19	Austria	1142
10	Switzerland	1289	20	Finland	1080

ちなみに2001年からどうなったかですが、先ほど触れましたが、ドイツが1番になります。その次がサウジアラビアですね。それから台湾。それからイラン。シンガポール、エジプト、スウェーデン、チリが続きます。それ以降、マレーシア、スイス、スペイン、北朝鮮、南アフリカ、シリア、ベトナム、アンゴラ、ベネズエラ、アルゼンチン、オーストリア、フィンランドというように続きます。

す。

2001年のデータを使った結果がどれだけ説明力を持つかどうかという判断は非常に難しいのですが、特徴として挙げられるのは、1つ、東アジアの国が非常に多いということです。シンガポール、これは東南アジアになるのかもしれませんが、広く東アジアをとりますと、シンガポール、次がマレーシア9位、北朝鮮12位ですね。15位がベトナムで、スライドには20位までしか出していませんが、21位がミャンマー、22位がインドネシアということで、アジアは非常に緊張関係が高まっていることが反映されています。

ちなみに日本ですが、この2001年からの80カ国には含まれておりません。もちろん1955年には19カ国ですが、19カ国の中に日本は入っていません。アメリカとの同盟があることによって、日本はこの中に入っていないということです。

ある程度現実的な説明力がこのモデルにあるのかなと思います。つまり、対外的な脅威ということで、かなりの部分は核保有が説明できるのではないかということです。核保有が一気に進むかどうかということに関する論争というのを最初にご説明いたしましたが、一気に進まないのではないかということを行い始めた人々の議論の中で、核保有は国内的な要因で決まるという点を論拠としているものがあります。核を持ちたいという賭に出るようなリーダーが出ると核保有に走るとかですね。だから日本でもわからないという議論になるのですが、果たしてどうか。このモデルが示すように、国際、対外的な脅威というものが説明要因としては非常に重要だとするならば、そしてこれはかなりの部分核の拡散を説明していると思いますが、あるときには核が一気に拡大していくという可能性はゼロではないというふうに結論づけます。

最後になりますが、このモデルについてこれから何をやらなければいけないかということなんですが、他の年の試行、これももちろんやらなければいけません。2つの年しかとっていませんので、ほかの年もやってみる必要があります。

また、試行数とターン数の増大をさせなければいけないのですが、これがやっかいで、本気でやるのならスパコンが必要になるのかと思っています。もちろんグリッドという技術もありますが、グリッド技術は私は持っていません。

より重要なのは、他の要因を組み込むかどうか。組み込んでもいいのですが、モデルは非常に単純にしなければいけないという基礎原則がありますので、そこの兼ね合いがあります。ここをどうするかというのは非常に微妙なところです。

さらに、ほかのデータ、COW以外にもデータがありますので、それらを使って検討する必要がありますかもしれない。特にデータを見てみますと、若干なせそのようにコード化するのかと疑問に思うときにはありますので、ほかのデータも使って比較しなければいけない。

そのほかにも、パラメータの操作化、特に検索リンクですね。これの重みをどうつけるかというの

が非常に難しく、これについてはまだまだ頭を悩ましています。

以上です。